

経済モデルにおけるサイバネティックス

Cybenetics in Economic Models

政治経済学研究科経済学専攻
博士課程3年

水 上 健 造

1. サイバネティックスの対象
2. 需要・供給モデルとサイバネティックス
 - 2—1 フィード・バック原理
 - 2—2 需要・供給モデル
 - 2—3 需要・供給の均衡方程式
 - 2—4 情報理論的思考
 - 2—5 自動制御的思考
3. 安定条件の吟味（結びに代えて）

1. サイバネティックスの対象

経済モデルに見られるサイバネティックス的性格を検討する前に、最近しばしば問題となるサイバネティックスの学問の対象範囲について簡単に説明する。

サイバネティックスという科学思想が生まれたのは比較的近年である。大体1948年頃からであると考えられるようであるが、この年には Wiener 教授の「サイバネティックス」が公刊される¹⁾。同教授によれば「サイバネティックスは一朝一夕に成ったものではなく、私個人の生長と科学の歴史とに深く根ざしている。歴史的には、それはライプニッツ、バベージ、マクスウエル、ギブスに発している。……²⁾」で人間社会の現象を一つの調和的に見、且つ現代機械文明の批判と考えられ、更に広い意味での合理主義に基づく現代文明の思想である。

サイバネティックスという科学を構成するものは、ウィーナー教授の言葉を再びかりれば「通信と制御の科学」で、それは又機械と動物に共通な通信と制御の動きおよびその背後にある構造の共通性を扱う科学である。そして人間社会は、それに属する通信文と通信手段の研究を通じてはじめて理解出来るものとされている。

1948年にウィーナー教授がはじめて提唱したサイバネティックスという新科学の観点を、社会生活の諸現象、すなわち社会科学に適用した場合、わけて経済行為ないし経済現象に関して、サイバネティックス的アナロジーおよびアプローチの多くはサイバネティックスの根本原理といわれるフィード・バック理論

との対応性とそのアナロジーに注目されて来た。

それ故にフィードバック理論と経済学との交渉の歴史も、非常に浅いといわざるをえない。それはだいたい1950年頃からと考えられる。この頃 Goodwin の経済変動理論の体系の中に取り入れた論文³⁾やら Strotz等による電氣的な分析の援用についての諸論文⁴⁾、Tustin の経済機構とフィード・バック機構の類似性についての比較研究からアナログ装置の考案の総合的な解説書⁵⁾等が散見できるのである。ここにサイバネティックスが今後経済学上に大きな足跡を残すとすれば、これ等の人々の業績が名誉ある開拓者と云えるであろう。

このサイバネティックスという学問も、Control の科学ということが出来よう。このControl という言葉は制御、管理、調節等々いろいろの訳があるように、相当に広い意味を持つ。そのControl とは何か、それは何かある方法によって、主体、多くの場合は人間の意のままになるようにすることである。すなわちある原因である制御者と結果である被制御物との間の相互依存関係があることは勿論であるが、その上に目的をもった主体があることが必要である。それは外生的景気循環理論に見られる。たとえば太陽表面における黒点の大小で観察した太陽黒点説等はこのControl の範疇に入らない。すなわち太陽表面における様相の変化が地球表面上の気象に大きな影響をもっていることは宇宙物理学者によって語られる。地球表面上の気象如何は農業に至大の影響がある。また海流の動きに強く関連し漁業に影響する所大で、農業、漁業と云った重要な産業に対する太陽表面上における影響が当然に経済全体に波及する。それがまた周期的な循環であったとしても、太陽が地球の地表を制御しているとは云わない。それは太陽には人間が持つような自由意志がないからである。したがって太陽の黒点が農業や漁業に如何なる作用と影響を与え、経済全体にどのように波及するかは、現段階でははじめから正確に予言出来る。これに対し、人間社会の現象や経済行為は正確に知ることが出来ない。この知ることが出来ない要素が入ることが、サイバネティックスの対象の第一の特徴と云える。

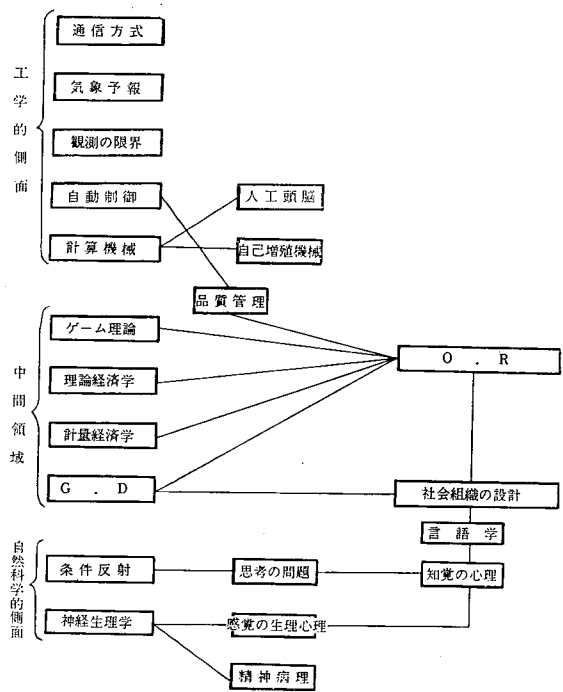
サイバネティックスは機械および動物から人間社会、文化の諸部門へと広められた。すなわち社会生活諸現象の総ての学問を対象にしていると云える。それをおおまかに分けると、工学的側面および自然科学的側面とこの両側面の中間に位置する中間的領域に大別出来る。

工学的側面は、われわれ人間が物を作ったり、交通機関を動かしたり、家を住みよくしたり、その他あらゆる人間の社会活動をするに際して必要な機械の制御が第一に考えられる。この種の問題はフィード・バック理論を基礎として純粋な工学を問題に取組むもので、この側面でのControl の一つの理想は、われわれ人間の出来ることの総てを自動機械にやらせることである。自動制御、電子計算機の発達は理想の実現化に対する一つの例である。

自然科学的側面は、サイバネティックスでも最も重要な面の一つでサイバネティックスという学問の適用で最も成功を見ている箇所である。これは主として動物の自己保存のために行なう制御を問題の対象としている。それは人間が作ったものではないが、それがどのようなかを探究する純粋な自然科学的な問題であることから前者と区別されるものである。

以上の二つの側面の他に、両者の中間に位置する領域がある。それは人間の集団あるいは人間と人間と

の間での制御の問題である。この部門はサイバネティックスでも人間が主体となるだけに非常に困難な箇所と云わなければならない。それは意志を持って人間の社会を自由勝手に動かすことの難かしさ、また社会を構成する法則そのものが多様性がある。工学や自然科学の法則のように一定不変なものでなく、また知られていないことにもよるが、しかし法則をできるだけ理想化して、この問題の解決に向う点では社会科学の中でも、理論経済学は他の諸分科と比べて価値の数量的な取り扱いの点で、サイバネティックスの効果が発揮出来、また工学や自然科学の制御過程と類推出来る唯一の箇所であるように考えられる。この他ゲーム理論、計量経済学および Group Dynamics 等がこの中間領域に属する。しかしこの中間領域の多くがまだ種々の点で、特に数量的な取り扱い方の点で精密さが足りないためサイバネティックスという大きな学問の数学的道具を十分に利用出来ないとはいえ、その一般的思考様式を共にしていることは否定出来ない。図1⁶⁾にサイバネティックスの対象を略述したが、これらのことはウィーナー教授の Cybernetics に述べられているものである。中間領域でサイバネティックスの根本原理であるフィード・バックがどのような視点に立ち入ったか、このフィード・バックを経済理論モデルの中に取り入れた最初の学者は R. M. Goodwin である。この種の思考がまだ試みの域を脱しないにせよ今後経済学の上にしめる地位もいよいよ大なるものと考えられる。ここで Goodwin のフィード・バック理論の最初の思想を説くと。経済活動の周期的な好況や不況は、微妙なフィード・バックが作用していると見る。すなわち、現実の資本量をインプットとし、これは実質国民産出高と技術の状態とで与えられるもの。実際の資本をアウトプットとする。共に時間の函数であ



る。このとき

図1 サイバネティックスの対象

$$E = K_{(t)} - K_o(t)$$

E = 偏差 (インプットにフィード・バックされる量)

$K_{(t)}$ = 現実の資本量

$K_o(t)$ = 実際の資本量

で定義されるときフィード・バック量の関係は、 $K_{(t)} > K_o(t)$ のときは超過資本を意味し $K_{(t)} < K_o(t)$ の場合は資本不足を意味する。前者にあつては純投資は減ぜられてマイナスとなり均衡の復帰が生ずる。後者にあつては純投資がプラスとなり均衡への接近が生ずるのである。

このようなフィード・バック機構において大概の場合目標を越えてゆき過ぎる傾向がある。この目標が

らのゆき過ぎを説明する決定的な要因を乗数と加速度因子の結果のメカニズムに求めているのが Goodwin で、経済が目標をゆきすぎるのはその新しい必要水準に到達した場合そこに必然的に純投資が存在するからである。この純投資が国民所得をその乗数倍だけ高めそれが加速度因子により一層多くの資本を必要とするからであるが、この不安定の機構を企業家という誤差検出装置が誤差を報告し資本の減少を命令する。このように誤差の値の大小で、機構全体の良否を判定することができ、応答が速やかに目標値に落ちれば、偏差は小さく制御特性は良いと考えられ、また偏差量を最小にすることが最適調整になる。これにナイキストの方法を適用して判別を行った A. Tustin 等^{7~8)}の方法は、今まで経済学では行なわれなかった新しいところみとして注目される。

このようにサイバネティックスでは、Control の対象は或る特種なものでなく、一般に Control の問題を扱うことが出来るものでそれを具体的な問題に適用することがサイバネティックスである。そして Control には物理的な面と情動的な面がある。この情動的な面がサイバネティックスの対象である。

- 1) 本稿は経済学専攻(昭和37年度)でサイバネティックスに関する筆者の紹介的なレポートに若干手を加えたもので、ウィーナー教授の著書の個々の引用についての一切を省略した。
- 2) 以降は岩波書店発行の理化学辞典からとったものである。
 - (a) Gottfried Wilhelm von Leibniy (1646—1716) :
ドイツの哲学者で、モノドと予定調和説の哲学体系の建設者。今日の記号論理学の創始者で、最大の功績は微分積分法の発見。
 - (b) Bab' bage Charles (1792—1871)
イギリスの数学者、計算機の最初の設計者。
 - (c) James Clerk Maxwell (183—1879)
イギリスの物理学者で、自動制御機構の原理の最初の研究者。
 - (d) Josiah Willord Gibbs (1839—1903);
19世紀アメリカ最大の理論物理学者であり、理論化学者、原子論にもとづく力学と原子集団の現象とを結ぶ統計熱力学の創立者。
- 3) R.M. Goodwin : *Econometrics in Business Cycle Analysis*, included as Chapter 22 in *Business Cycles and National Income* by Alvin Hansen (1951) pp. 417—468
- 4) R.H. Strotz, et al : *Analog Computing Techniques applied to Economics*, AIEE 1951 volume 70 pp. 557—563
- 5) A. Tustin : *The Mechanism of Economic System* (1957)
- 6) 高橋秀俊 : サイバネティックス概論, 電気通信学会雑誌, 昭和30年1月, p. 2
- 7) A. Tustin : 前掲書 pp. 34—36
- 8) 拙稿 : フィード・バック・システムとしての経済モデルの一考察, 昭和34年11月, 電気学会東京支部大会論文集, p. 54

2. 需要・供給モデルとサイバネティックス

2—1 フィード・バック原理 経済循環の諸行程が円滑に進行するためには、流通機構を通ずる財の需要と供給が物理的に均衡状態にあることが必要である。ここで需要と供給が経済価値を決定する問題から、経済循環、あるいは相互依存関係を見極められるいわば経済運動の基本的問題をサイバネティックスが取扱っている以上、サイバネティックスを経済学が対象とする範囲もかなり大きいことは前節でも説明し

たが、このサイバネティックスそのものが Control の科学である。それ故に経済が安定的均衡を至上目的として与えられている場合には、自動制御理論を適用し、他の場合には情報理論から問題の解決に当る。その両者共にフィード・バック原理に従っていることは明瞭である。

たとえば需要・供給モデルにおいて、モデルが経済的な均衡点を導き出す運動は。社会の状況およびその情報の指示やその他の刺激を入力信号としてとらえこれを頼りに応答を形成するのである。すなわち需要側の出力が供給側の入力となり、供給側の出力が需要側の入力となる。これ等の情報およびその他の刺激がフィード・バック的にからみ合って、経済運動機構の安定的均衡、理論的に交換価値の決まる点を見つけるものと考えられる。この需要・供給モデルにおいて、需要側あるいは供給側の一元的に議論することは問題の性質上好ましくないのであるけれども、フィード・バック理論の説明を簡単にするため供給側より見たその動作特性は。消費の状況を入力信号とし、これを判断して適当に財の生産速度を決め、操作を企業に命じて安定的生産の実現を見る。このような操業命令を受けるのは、生産能力を支配する企業であって、ここに生産量と命令とを照合するフィード・バックがある。また判断や思考を行なう供給者側では、生産された財をとらえて販売量と入力信号とを照合するフィード・バックなどが働いて、その結果、目的に合った生産量が需要者側に供給されるものと考えられる。

以上のような各種のフィード・バックは。けっきょく経済機構の情報が無数の網目構造を持っていることである。ここで需要・供給モデルは図2—1のようなものが考えられる。

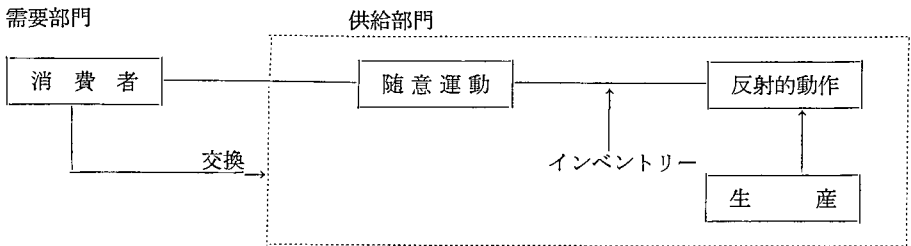


図2—1 需要・供給モデル

図2—1 のモデルにおいて消費者部門の情報によって供給部門が動かされる反射的動作（価格の自然変動）と供給側の情報（判断や思考）による運動の二つがあって、後者は一般に随意運動と呼ばれ、この随意運動の作動部門が、供給部門が動かされる反射運動の作動系が担当しているものと考えられる。またこのような情報の流れを自動制御論の立場からブロック線図にまとめると、図2—2のように、供給と需要の二つのプロセスの組合せと考えられる。

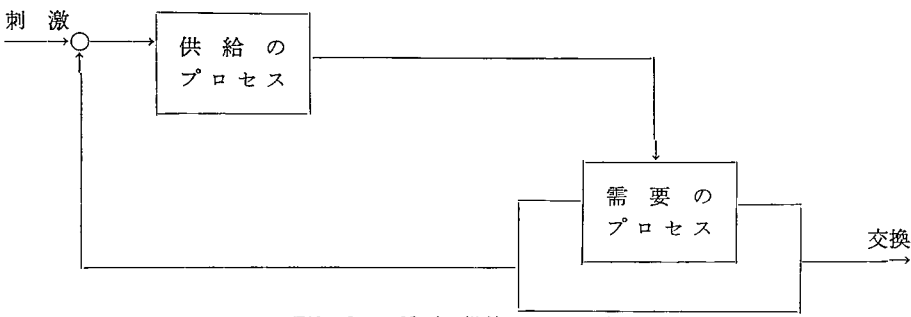


図2—2 需要・供給モデルのプロセス構成図

以上で需要・供給モデルの制御運動に対する制御モデルの構成と作動について述べたが、その制御効果を考えるとき、経済機構には社会のさまざまな変化に応じて、常に最適の応答を果たそうとする本質的な性質があるので、機構全体が働いて、最適調整、適応制御に近い応答が行なわれたものと仮定する。

ここで需要・供給モデルの動作の二つのプロセスの結合を導いたが、モデルの制御特性を推定するために、図2—3に示す(a)なる目標値に対し(b)の応答が得られたとすれば、(a)と(b)の差が任意の時刻における応答の誤差で、時間が経てばこの誤差は無くなるものとする。

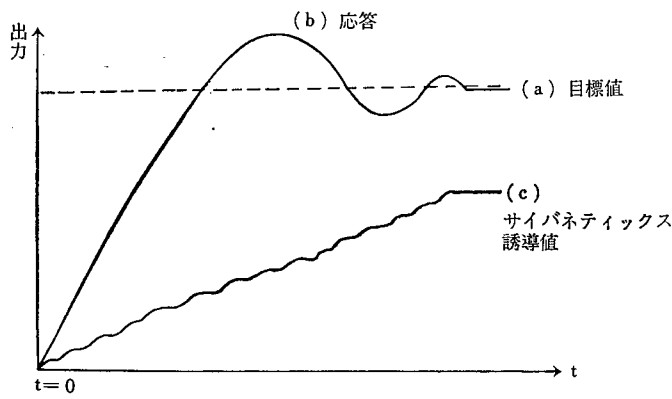


図2—3 応答とサイバネティックス誘導値

このとき

$$\epsilon = \int_0^t t |E| dt \dots\dots\dots (2-1)$$

ϵ = Integral of time \times Arithmetic error

t = 刺激があつてからの経過時間

E = 目標値と実際値との差

で定義される ϵ を、応答時間に対して図示すれば図2—3中(c)になり、実際値が目標値に落ちついたところで ϵ の増加も止まる。この点が均衡点に相当する位置で、サイバネティックス誘導値と呼ばれ、そしてこの値の大小で応答全体の良否を判定することができ、応答が速やかに目標値に落ちつけば、誘導値は小さく制御特性は良いと考えられ、誘導値を最小にすることが最適調整にすることになる。

2—2 需要・供給モデル 経済モデルの中でも最も熟知していることは、需要・供給法則から市場価格を説明しようとするモデルであろう。理論的には交換価値を決定する点は、需要と供給の均衡点において決まらなければならない。その均衡点が供給価格と需要価格が等しい点で、ここで市場価格が決まることがもっとも望ましい訳である。アルフレッド・マーシャルはこの点を安定的均衡 (stable-equilibrium) と名づけ、この均衡価格の成立立程を幾何学的図型をもって説明している⁹⁾。

しかしマルクス等も指摘したように、この均衡点を実際には存立不能な点であり、それ故に市場価格は需要と供給の均衡点において決まらず、財の交換もまた上記理由から需要と供給の均衡点において行なわれるものではない。たとへばいま個別的に一財の交換価値を考えた場合に、取引磁場の両極に立つ販売者

と購売者の双方の取引能力か、あるいは譲歩の度合においてある一点に物理的に約合うのである。この点が経済力学的均衡点であり、この経済力学的均衡点が先に論じた理論的に交換価値の生ずる点とほぼ等価である。すなわち需要価格と供給価格が等しく、これに等価な市場価格の生まれる点である。しかし実際には、交換価値の最高および最低を知らなく、それは一方的か、または交渉結果の減衰運動として決まるもので、この減衰運動のたどる過程がフィード・バック作用によって振動の振幅と減衰時間を最小にすることが望ましい訳である。このように、その動作を考えると、経済は社会現象のさまざまな変化に応じて、常に最適な応答を果たそうとする本質的な性質があるので、実際に交換価値の最高および最低を知らなくともそこに均衡点が導びき出せる。

このようにして静態論における一定の財にして一度均衡価格が定められても、それは永久にその価格を保持するものではない。その価格は慣性によって一定期間は均衡点で決められた価格を保持するものの、時間の経過と共に、価格を追って供給が増加するので、実際には交換価値の領域とその均衡点は止どまることなく移動するが、供給者側と需要者側の利害のフィード・バックを基調として構成されるこのモデルは、先に論じた如く、社会のさまざまな変化に応じて、常に最適な均衡点を見つけようとする本質的な性質のため、安定した発展的均衡を保持するように努めながら移動するものと考えられる。

モデルにおいて、需要と供給が均衡状態にある間は財は一定の比率をもって生産される。すなわち、供給者は生産量を増そうとも減じようともせず、需要と供給は価格と数量とにおいて均衡状態にある。需要と供給が安定的均衡状態にある場合に、外部要因または何らかの事情で生産量が均衡点を離れるならば、その均衡点に率引する力が直ちに発生する。同様に価格が少しでもこの点から離れると、需要量と供給量の乖離によって、やがてこの点に復帰しようとする作用が働くのである。この需要・供給の経済モデルにおいて不均衡を生ずる原因は、くもの巢理論でも明らかなように、産業が価格を追って財の生産を行なうが、需要がこれに追従しない。また何らかの事情によって消費者需要が急激に変化したときの生産部門と市場部門の間の応答の遅れ、すなわち、時間遅れと情報判断の欠如によるものである。この不均衡が均衡点に率引し、復帰する理由はマーシャル理論でも説明されている如く、「需要価格が供給価格より大ならば販売者は財を交換することによって、その価するものより多くの収益をあげる。したがって供給量を増加しようとする力が働く。これに反してある量が生産された場合、需要価格が供給価格より小さくなるときは、販売者はその量の財を市場に供給することにより損失を蒙る。そこで供給量を減少しようとする力が働き、そこに需要と供給は価格と数量とにおいて均衡状態に入る……¹⁰⁾」

このモデルに線形需要函数と供給函数を設定した場合は、

$$P_d = \alpha_1 - \beta_1 Q_e \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

$$P_s = \alpha_2 + \beta_2 Q_p \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

- 但し P_d : 需要価格 P_s : 供給価格
- Q_e : 交換速度 Q_p : 生産速度
- α_1 : 最高需要価格 α_2 : 最低供給価格
- β_1 : 販売慣性 β_2 : 生産慣性

と定義する。

2—3 需要・供給の均衡方程式 産業はあるインベントリー水準に常に落着こうとする。この水準の短期の変動は、市場の動的要素によって起る。今均衡状態においては前記定義により、需要価格 $P_d =$ 供給価格 $P_s =$ 市場価格が成立し、交換速度 $Q_e =$ 生産速度 Q_p が成立し、且つインベントリー変化 ΔQ は零である。

ここで均衡状態が害われる原因は。先に記述したように、価格を追って産業の生産を増すことにもよるが、今仮りに、産業はその時の販売高に対して、得ることのできる最高の価格を要求する。市場価格は、常に需要価格に等しい。しかし価格は或る一点の均衡点に止まることなく次の新しい均衡位置に移動する。それは需要の急激な増加に対し、産業は初めはインベントリーの放出によってそれに答え、且つ再充実を図るために、生産を徐々に増加させることでこれに応ずる。しかし産業は新均衡位置を知らないため、すなわち市場の要求に対するインフォメーションの欠如のため、均衡位置を行過ぎる。これは産業が最初、生産増加よりもインベントリーの放出で需要の増加に答えるものの、その後の生産増加は加速度的な量を得て、新均衡位置を越えて生産がおしすすめられると、需要と供給の均衡がくずれるので、それをまた均衡点に索引しようとする力、すなわち生産の減少が行なわれる。これは Goodwin によれば、目標からのゆきすぎを乗数と加速度因子の結果のメカニズムに求める。そしてこの不安定さは企業者という誤差検出装置が誤差を報告し生産の減少を命令するものとし、かくしてこのようなモデルは本質的には不安定であるけれども制限要因がその完全な崩壊を防ぐものと考ええる。

この様子が次の二つの方程式で表わされる。

$$P_d - P_s = \beta_1 \frac{dQ_e}{dt} + \beta_2 \frac{dQ_p}{dt} \dots\dots\dots(2-4)$$

$$P_d - P^0 = \beta_1 \frac{dQ_e}{dt} + \frac{1}{r} \int_{T_0}^T (\Delta Q) dT + P_i \dots\dots\dots(2-5)$$

但し β_1 : 販売慣性 β_2 : 生産慣性

P^0 : 最初の均衡位置 P_i : 価格の制御函数

(2—4)式は需要価格が生産価格を越えることが交換および生産増加の刺激になることを示している。もし需要価格が上がれば、この刺激は増し、市場や生産の応動の遅れがなければ、販売は直ちに増加し、需要価格と供給価格が等しくなるまで増加しつづける。

しかし販売や生産のレートの変化に対し、これを妨げる役目をする二つの要素がある。その一つは需要が大でも、インベントリー水準をある一定水準以下に下げまいとする要求があったり、生産増加の応答の遅れに伴うもの。もう一つは要求された生産率の水準に上がるまでの生産の上昇の遅さである。これを β_1 および β_2 であらわす。

需要価格が供給価格を越えることによって販売と生産量を増加させるように働くところの刺激は、それぞれの慣性係数が乗ぜられているところの販売と生産量との変化率によってつり合わされている。

(2—5)式は需要価格がインベントリーの状態に関係し、初期均衡価格 P^0 から需要価格の越え高を財の

交換増加に対する刺激と見る。それは販売慣性とインベントリーの状態によってつり合っているものである。ここで販売部門の慣性が $\beta_1 \frac{dQ_e}{dt}$ である。インベントリーの状態は $\frac{1}{r} \int_{T_0}^T (\Delta Q) dt$ で、産業はインベントリーの実際の水準が、その均衡値より落ちるのを嫌う意向をもつことを表わしている。

ここで r が小さいほど 産業はインベントリー水準の変動を嫌い、 r が大きいほど変動を許容する。 P_i は新しいインベントリー水準と、その新しい水準に至るまでの遷移動態を制御するために導入された量である。

$$P_i = (P^1 - P^0) \{1 - e^{-u(T - T^0)}\} \dots\dots\dots(2-6)$$

なほ $T = T^1$ において T^1 が十分大ならば、 $P_i = P^1 - P^0$ となり、かつ均衡状態では $dQ_p/dT = 0$ 、および $P_d = P^1$ なる故に

$$\frac{1}{r} \int_{T_0}^{T^1} (\Delta Q) dT = 0 \dots\dots\dots(2-7)$$

すなわち新均衡状態においてはもとの水準に復帰する。 P_i はインベントリー再建計画のパターンを示すものである。

$$P_d - P^0 = \lambda_1 \frac{dQ_e}{dT} + \frac{1}{r} \int_{T^0}^T (\Delta Q) dT + (P^1 - P^0) \{1 - e^{-u(T - T^0)}\} \dots\dots\dots(2-8)$$

$$P_s - P^0 = -\lambda_2 \frac{dQ_e}{dT} + \frac{1}{r} \int_{T^0}^T (\Delta Q) dT + (P^1 - P^0) \{1 - e^{-u(T - T^0)}\} \dots\dots\dots(2-9)$$

2—4 情報理論的思考 一口の財政的な構造を自動制御するのは、株式相場表示から出てくるメッセージで、これが何百という株式ブローカーの手に渡り、そのブローカーたちの反応が資本構造に影響をあたえる。すなわち情報が言葉たるメッセージの形で、人間や一口の行動を制御する。また科学に関するものであると否とを問わず、文献は過去の時代からの情報を表わし、そしてその文献調査は、これらの思想や行動を制御するフィード・バック・ループの一つの形式である。それ故に自動制御の生命を支える血液は情報である。

需要・供給モデルにおいてもしかり。生産と消費の均衡を導くために情報にもとづいてその動作をするということは、制御の持つ本質的な働きである。それ故にサイバネティックスをよく理解し、またこれを応用するためには情報そのものの性質をよく理解しなければならない。

消費と生産の循環は主として需要反応の連鎖として受け取れる。需要反応の速度を制御するものは価格であることから、経済活動の制御は価格変動の調整がその基盤になる。普通一般に社会科学で考えられるフィード・バックは正值のフィード・バックであるが、生産による市場拡張の限界と消費欲望の阻害はいずれも負値のフィード・バックである。負値のフィード・バックとは。結果（生産財）の増大が原因（価格）を減少させるフィード・バックの仕方をいう。逆に結果の増大が原因を増大させる場合は正值のフィード・バックで、この経済機構は不安定である。

需要・供給モデルにおける生産と消費の循環の連鎖は動学的均衡を意味するものであるが、この循環の行程が少くとも二つ以上相互に情報の伝達を介してからみ合っているときに、これら循環の行程は情報的に相関しているという。

したがって図2—1で交換が行なわれる速度は、生産行程と、消費行動を示す関係が情報の相関関係にあることを示す。H. Grenieski¹¹⁾ は情報の相関を直列相関、フィード・バック相関、並列相関の三つに分類した。

図2—1のモデルで需要部門と産業部門がフィード・バック相関関係にあることを提案するものである。すなわちそれは需要量に関する情報と、インベントリーの過剰あるいは不足を知って、これ等を基として、生産の割合に対する情報の伝達が行なわれていると見る。

すなわち（インベントリー水準）→（予想生産）→（実際の生産）→（インベントリー）→（インベントリー水準）の過程を繰返えし、これに価格作用が織込んだ相互の情報の伝達がからみ合って、需要と供給の均衡を確実にならしめている。図2—1をこの情報理論的な考えに書きかえると図2—4のような調節機能を示すブロック線図で説明出来る。

図2—4において、A, B, C, D は循環の中間過程を示し、⇔はインベントリー機構の変化を示す。→は情報の伝達経路を示す。

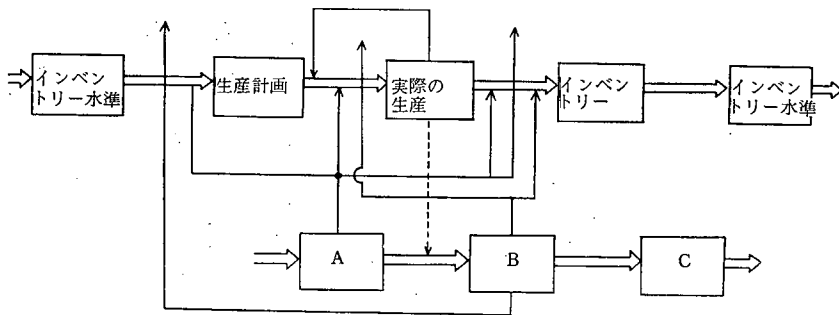


図2—4 インベントリーの情報的調節機構

ここでインベントリー変化と情報伝達の経路で交叉しているのは活動の促進を、交叉していないのは抑制を表わす。→→は価格作用である。

以上情報理論的に考えた場合。現象論的には、上述のような説明で良いと思われるが実際の経済機構ではどのようにして制御が行なわれているかは定説を知らないが。価格、インベントリー、または経済循環における諸行動のフィード・バック制御はその情報理論的基盤に立っているといえる。

2—5 自動制御的思考 いま経済安定という至上目的が与えられている場合、上記モデルは自動制御体系のように解することができる。

すなわち需要・供給モデルに於いて、需要に等しい生産を生ずることがその目的にかなう訳である。現実には生産が価格を追って行われる限り、または将来の需要に対する予想誤差のバラッキ、需要と生産との間の応答の遅れ等々の問題のために両者間の不均衡はさけられないものである。この不均衡から生ずる価格差 $P_d - P_s$ に比例する動作が自動制御理論では最も興味ある箇所であり、この価格差に比例した動作が均衡位置を見極める運動である。現在これ等の目的を満足せしめるような完全なものはないが、以下

自動制御理論に従って、これ等の問題点の説明を行なう。

先ずここで使用される記号は特にことわらない限り自動制御用語にならった。Cを制御対象，rを基準入力量，eを動作信号とした場合の需要・供給モデルの運動方程式は次のようになる。

$$e = r - C \quad (2-10)$$

$$\beta_1 \frac{d^2 Q_e}{dt^2} + \beta_2 \frac{dQ_e}{dt} = K_e \quad (2-10)$$

但し K_e は制御要素比例定数（感度）

簡単に理想化された制御系に於いては，系の動作信号はそのモデルの実際の誤差（ $P_d - P_s$ ）であり，モデルの目標値はインベントリー水準に等しい。動作信号と誤差とが等しい理想的な場合に於いては，それ等の術語は互いに交換して使用される。

その方程式がインベントリー水準の或る要求された変化に対して交換される時は次のようになる。

$$E = R - C \quad (2-12)$$

$$(\beta_1 S^2 + \beta_2 S) R - (\beta_1 S^2 + \beta_2 S) E = K E \quad (2-13)$$

又モデルの誤差は普通最も重要なものである。

$$E = \frac{\beta_1 S^2 + \beta_2 S}{\beta_1 S^2 + \beta_2 S + k} R \quad (2-14)$$

ここで目標（値インベントリー水準）を階段函数変化させた場合，

$$\left. \begin{array}{ll} r = 0 & t < 0 \\ r = r_p & t > 0 \end{array} \right\} \quad (2-15)$$

$$R = \frac{r_p}{S} \quad (2-16)$$

但し， r_p = インベントリー水準の変化

（2—13）式を直接に解くことは現在可能であるが，多くの場合パラメータを簡略にするために次の量を決める。

$$T = \frac{\beta_1}{\beta_2} \quad (2-17)$$

$$k = \frac{TK}{\beta_2} \quad (2-18)$$

但し T：時定数

ここで図2—1に示した需要・供給モデルの Q_p と Q_s の相互関係の自動制御的表示の意味も自然に分だろう。E と r_p の関係を示す伝達函数は，

$$\frac{E}{r_p} = \frac{(TS + 1) T}{T^2 S^2 + TS + k} = \frac{S + 1/T}{S^2 + (1/T)S + k/T^2} \quad (2-19)$$

これらの式から説明できることはKの低い値は大なる減衰系となり，そして利得の増加はその応答の速度を増す。しかし過度に高い利得は振動を起す。ここで需要・供給モデルの慣性と減衰の変化に対する影響を調べることは重要なことである。例えば，われわれがその元の値の二倍まで慣性を加えるものと仮定する。この変化は（2—17）と（2—18）式に関してTとKと同様に二倍にする。ここでモデルの時定数

を二倍にするということは、制御系をより振動性、すなわち不安定にする。そしてインベントリー水準の与えられた階段函数変化に対し許し得る値に減衰せんがために費やす時間はより長い時間を必要とする。

同様にして減衰因子を二倍にする場合には、時定数 T を半分にし、 K を元の値の $\frac{1}{4}$ に減ずるということ、そしてその結果としてモデルをすみやかに安定に近づけることを知る。

経済循環が円滑に行なわれるためには、すなわち自動制御がうまく行なわれるためには、振動が起っても短時間のうちに小さい振動にまで減衰する必要がある。大きく振動して減衰しない不安定なものでも、減衰する時間が長くかっても望ましくない。与えられたフィード・バック系が「最適な安定度」で動作する条件を検討することは、自動制御理論の重要な課題である。

ここで用いられたモデルは極めて、簡単なフィード・バック系であるが実際の経済機構を制御するためのフィード・バック回路は簡単なものでなく、非常に複雑で多重のフィード・バック・ループを持っている。しかしそのフィード・バックの回路の多重性がその系の安定性を増すのに役立つのである。

このようにしてフィード・バック系の多重性と安定性が経済成長の問題に関連してくる。

ここでフィード・バック系が外部からの外乱に対してどのように応答するか、また系の安定度を決定するためにモデルの運動方程式をたててその式を解かねばならないが、その計算は非常に困難である。このような場合、アナログ計算機やシュミレータを使って計算するのが効果的である。

9) A. Marshall : Principles of Economics, BK. v. ch III. 8 ed pp.345—346

10) A. Marshall : 前掲書 p. 346

11) H. Greniewski, Cybevnetics withowt mathematics, 1960. p. 134

3. 安定条件の吟味（結びに代えて）

経済現象のはあくに、最終的には経済政策の手掛りを見きわめるため、経済理論モデルを解明することは承知の通りだが、これをサイバネティックス的に翻形し、その体系固有の分析方法を援用して、経済理論モデルの分析を行なうことの有用性を提案して来た。その結果であるモデルの安定条件およびその吟味については、過去数年来電気学会および筆者の勤務先である日本大学工文学部で公表して来たので詳しくは公表論文を参照されたい。

(1) 需要・供給モデルで¹²⁾、インベントリー系数 $1/r$ を小さくすることは、産業の振巾および周期を大にし、振動型で不安定となる。

β_1, β_2 が大なることは振動大で、生産と交換の増加は相対的には減少の傾向にあることを示している。

(2) 乗数・加速度モデル。^(13~14) 経済姿態を明解するための乗数・加速度モデルの体系について本論文中心記述出来なかったが、(注・13~14参照) その運動方程式と安定条件の一例を示すと次の表の如く示される。

表中 $I(t)$ は投資変化、 $D(t)$ は需要変化、 I_a を投資 $I(t)$ の時間変化を零とした時の値、 D_a を有効需要とし、更に $I(t), D(t)$ が I_a, D_a と等しいと定義された場合である。また方程式には比例係数、積分係数および微分係数が加味されている。

a). 乗数及び加速度領域としての経済変動

| 基本式 (Goodwin モデルに対応) | $D(t) \cdot I(t)$ | 変 動 経 路 |
|---|--|----------------|
| $PD(t) = d_0 \{ I(t) - s_0 D(t) \}$ | $D(t) = \frac{1}{s_0} (1 - e - d_0 s_0 t) I_a$ | 非 振 動 型 減 衰 |
| $PI(t) = i_1 P \{ D(t) - O_{-1} P^{-1} I(t) \}$ | $I(t) = (i_1 e - i_1 o^{-1} t) D_a$ | 非 振 動 型 減 衰 |

b). 二つの領域としての経済変動

$$I_{(t)} = LI_{(p)} = \frac{d o i_1 P}{P^2 + (d s_0 + i_1 o_{-1} - d_0 i_1) P + d_0 s_0 i_1 o_{-1}} I_a$$

ここで $I_a = I_{(t)}$ とした場合, $I_{(t)} = L (cp/p^2 + ap + b) I_a$ となる。ただし, $a = (d_0 s_0 + i_1 o_{-1} - d_0 i_1)$, $b = d_0 s_0 i_1 o_{-1}$, $C = d_0 i_1$ とする, 安定である条件は, $a > 0$, $b > 0$ すなわち, $d_0 s_0 + i_1 o_{-1} > d_0 i_1$ である。

| P | $I_{(t)}$ | $I_{(t)}$ 変 動 経 路 |
|------------|---|-------------------|
| $a^2 > 4b$ | $\frac{C}{2m} \left\{ e^{-(1-m)t} - e^{-(1+m)t} \right\} I_a$ | 非 振 動 型, 減 衰 |
| $a^2 = 4b$ | $C t e^{-1t} I_a$ | 振 動 型, 減 衰 |
| $a^2 < 4b$ | $\frac{C I_a}{m} e^{-et} \sin mt$ | 振 動 型, 発 散 |

経済系のモデルでは, サイバネティックス理論において用いられた手段にしたがって, その系の安定度を高め, しかるのちそこに附加したフィード・バック回路を経済関係に翻訳すれば, われわれはその現実の経済系の安定度を高めるべき, 適当な政策を発見することができるであろう。

本稿に取り上げたモデル自体簡単なもので, サイバネティックスの特有な分析方法の効果は十分に発揮出来なかったが, 今後これに基づいた方法が経済学の中に取り上げられることを期待する。その意味では本稿は一里塚の役割以上には出ていないものと考えられる。

- 12) 拙稿: アナログ装置による経済モデルの分析, 昭和35年, 電気学会論文集, p. 418
- 13) 拙稿: 経済学の工学的アプローチ, 昭和37年日大理工学術講演会論文集, pp. 101~102
- 14) 拙稿: 経済機構の自動制御的考察, 昭和38年日大理工学術講演会論文集, pp. 33~34